

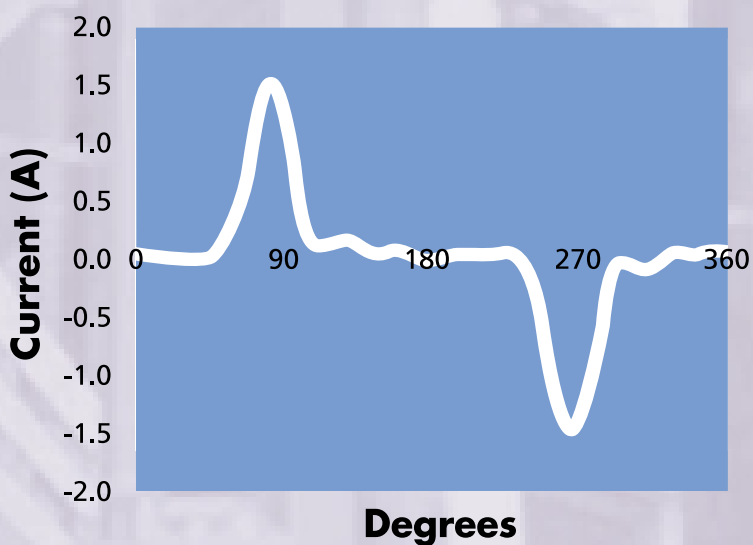
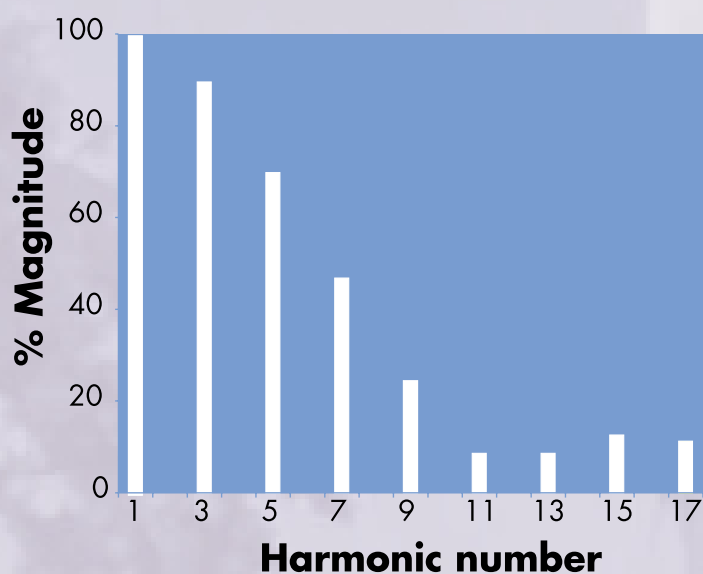
# Villamosenergia-minőség – Alkalmazási segédlet



Leonardo da Vinci

## Harmonikusok Források és hatások

3.1



HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE



Harmonikusok

# Harmonikusok

## Források és Hatások

David Chapman  
Copper Development Association  
2001. március

### **Magyar Rézpiaci Központ Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC)**

A Magyar Rézpiaci Központ a réztermelők és feldolgozók által támogatott non-profit szervezet, amelynek célja a réz és a rézötvözetek használatának, valamint helyes és hatékony alkalmazásának elősegítése. A szolgáltatások, beleértve a műszaki tanácsadást és információs adatközlést, mindazok rendelkezésére állnak, akik bármilyen vonatkozásban érdekeltek a réz felhasználásában. Az egyesülés összeköttetést teremt a kutatás és a felhasználó ipar között, és szoros kapcsolatot tart fenn a világ többi – a rézpiac fejlesztésén tevékenykedő – szervezetével.

### **Európai Réz Intézet European Copper Institute (ECI)**

Az Európai Réz Intézet az ICA (International Copper Association) és az IWCC (International Wrought Copper Council) támogató tagjai által létrehozott szervezet. Tagjain keresztül az ECI a világ legnagyobb réztermelői és Európa vezető réztermék gyártói nevében dolgozik a réztermékek európai piacfejlesztésén. Az 1996 januárjában megalakult ECI-t tíz Rézpiaci Fejlesztési Egyesület (CDA-k) hálózata támogatja a Benelux államokban, Franciaországban, Németországban, Görögországban, Magyarországon, Olaszországban, Lengyelországban, Skandináviában, Spanyolországban és az Egyesült Királyságban. Ezen tevékenység folytatása azon erőfeszítéseknek, amelyeket az 1959-ben alakult Copper Products Development Association (CPDA) és az 1961-ben alakult International Copper Research Association (INCRA) kezdeményezett.

### **Figyelmeztetés**

A Magyar Rézpiaci Központ és az Európai Réz Intézet elhárítja a felelősséget bármilyen közvetlen, közvetett, okozati, vagy véletlenszerű meghibásodásért, amely az ebben a kiadványban közölt információk felhasználásából, vagy az információk illetve a közölt adatok fel nem használhatóságából eredhetnek.

Szerzői jog©: Copper Development Association (CDA)

Magyar fordítás: Magyar Rézpiaci Központ

A kiadvány anyagának másolása, terjesztése engedélyezett, feltéve, hogy az teljes terjedelemben, a forrás megjelölésével történik.



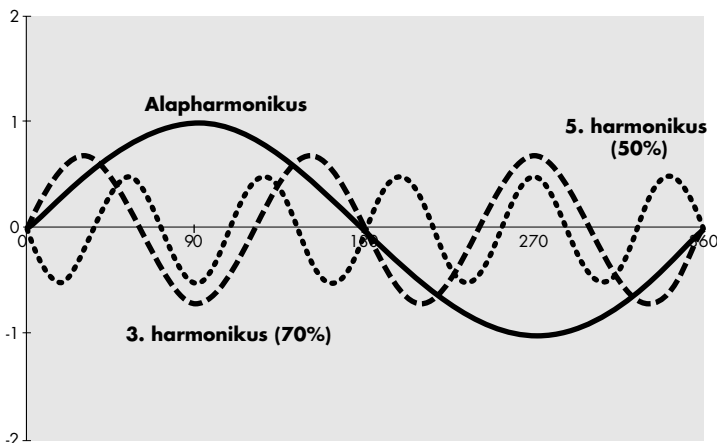
**HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE**

Magyar Rézpiaci Központ  
H-1053 Budapest  
Képipró u. 9.  
Magyarország  
Tel: (+36 1) 266 48 10  
Fax: (+36 1) 266 48 04  
E-mail: [info@hcpcinfo.org](mailto:info@hcpcinfo.org)  
Web: [www.hcpcinfo.org](http://www.hcpcinfo.org)



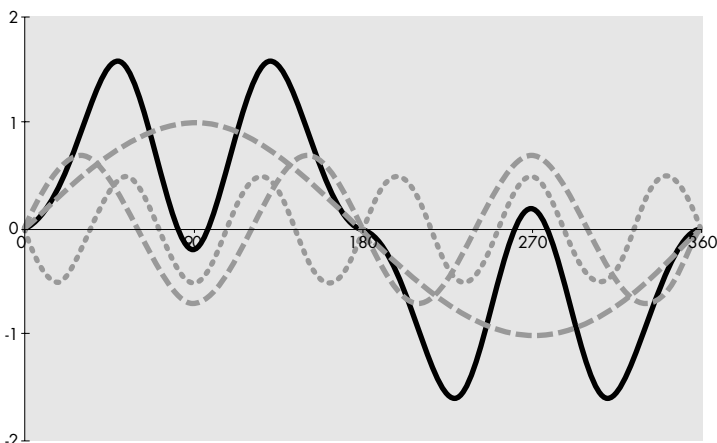
European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium  
Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)

## Források és hatások



1. ábra. Alapharmonikus, harmadik és ötödik harmonikus szinuszhullámok

2. ábra az alapharmonikushoz adott 70 % harmadik és 50 % ötödik harmonikust tartalmazó eredő görbét mutatja. Meg kell jegyezni, hogy a tényleges torzított áram jelalakok a fenti példánál általában sokkal több harmonikus komponenst tartalmaznak,



2. ábra. Torzított áram-időfüggvény

Az Útmutató jelen fejezete a harmonikus áramok eredetével és a villamos hálózatra gyakorolt hatásával foglalkozik. A csökkentési módszerekkel a „Harmonikus hatások csökkentése” című fejezet foglalkozik.

Az alapharmonikus frekvencia egész-számú többszöröseit harmonikus frekvenciának nevezik, pl. ha az alapharmonikus 50 Hz, a harmadik harmonikus frekvencia 150 Hz, az ötödik harmonikus pedig 250 Hz. Az 1. ábra egy alapharmonikus, egy harmadik és egy ötödik harmonikus szinuszhullámot mutat.

amelyek kezdő fázisa is igen eltérő lehet. Világos, hogy ez a jelalak nem egy frekvenciás szinuszhullám, ezért a hagyományos multiméter – ami az átlagot méri és effektív értékre van kalibrálva, pontatlan eredményt fog adni. Figyeljük meg, hogy a görbének alapharmonikus periodusonként kettő helyett hat nullátmenete van, tehát minden olyan berendezés, amelyik referenciaként használja a nullátmenetet, hibásan fog működni. A jel alapharmonikustól eltérő frekvenciájú összetevőket tartalmaz, ezért ennek megfelelően kell kezelni.

Amikor a villamos létesítményekben keletkezett harmonikusokról beszélünk, mindig harmonikus áramokra gondolunk, mert a harmonikusok áramként keletkeznek és a bajok többségét ezek az áramok okozzák. A harmonikus áram spektrumának ismerete nélkül nem lehet semmilyen használható következtetésre jutni, mégis általában a teljes harmonikus torzulás értékek vannak előírva. A harmonikusok áramoknak az elosztóhálózatban való terjedése a gyűjtősíneken feszültség- harmonikusok kialakulását okozza. Nagyon fontos, hogy a feszültség és az áram értékek is mérvők és hogy az előírásokban egyértelműen legyen megadva, hogy azok feszültségre vagy áramra vonatkoznak. Hagyományosan az áram torzítás mérések I-vel (pl. 35% THDI), a feszültség mérések U-val (pl. 4% THDU) vannak jelölve.

A villamosenergia-rendszerben a harmonikus áramok régóta jelen vannak. A gerjesztett vasmagos berendezések harmonikusain kívül kezdetben a különböző célú ipari alkalmazású higanygőz áramirányítók harmonikus áramai voltak a dominánsak. Napjainkban a harmonikusokat termelő berendezések típusa és száma meredeken nő és ez a növekedés csak fokozódni fog a jövőben, így a tervezőknek körültekintően kell foglalkozni a harmonikusokkal és káros hatásaikkal.

Jelen fejezetben tárgyaljuk a harmonikusforrásokat, a harmonikusok keletkezésének körülményeit, a harmonikusok hatását a villamosenergia-rendszerre és annak egyes elemeire, végül rövid áttekintést adunk a harmonikus hatások csökkentési lehetőségeiről.

## Harmonikusokat termelő berendezések típusai

A nemlineáris terhelések harmonikus áramokat keltenek. Fő típusai:

Egyfázisú terhelések, mint

- kapcsolóüzemű tápegységek (KÜT),
- elektronikus előtétű fénycsövek,
- kis teljesítményű szünetmentes tápegységek.

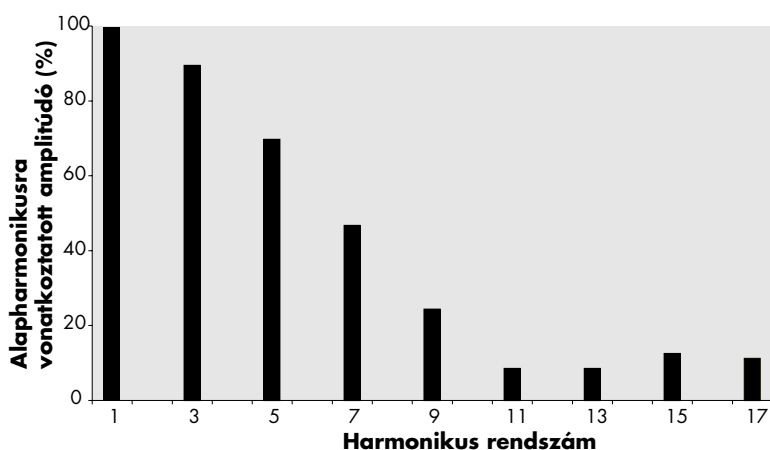
Háromfázisú terhelések, mint

- változtatható fordulatszámú hajtások,
- nagyteljesítményű szünetmentes tápegységek.

## Egyfázisú terhelések

### Kapcsolóüzemű tápegységek (KÜT)

A modern elektronikus berendezések többségében kapcsolóüzemű tápegységeket (KÜT) alkalmaznak. Ezek abban különböznek a hagyományos tápegységektől, hogy a bemeneti illesztő transzformátor és egyenirányító helyett közvetlen bemenetű szabályozatlan vagy szabályozott egyenirányító csatlakozik a hálózatra, amely egy kondenzátort tölt. Erről a terhelés által igényelt egyenfeszültséget illetve egyenáramot egy nagyfrekvenciás inverter állítja elő. A megoldás előnye – a berendezés gyártók számára – az, hogy a tápegység mérete, ára és súlya jelentősen csökkent és a tápegységek szinte tetszőleges kimeneti jelalakokkal készíthetők. A hátrány – mindenki másnak – az, hogy a tápegység a hálózathoz nem folytonos áramot vesz fel,



3. ábra. Számítógép-tápegység áramának jellemző harmonikus spektruma

hanem áramimpulzusokat, amelyek nagy harmadik, ötödik és nagyobb rendszámú harmonikus összetevőket tartalmaznak. Egy jellemző spektrumot mutat a 3. ábra. A hálózat felé folyó nagyfrekvenciás összetevőket általában egy egyszerű bemeneti szűrővel csökkentik amely a fázis és nullavezető valamint a föld közé van kötve, de ez nem hat a kisebb frekvenciájú harmonikus áramokra, amelyek a hálózat felé záródnak. Az említett szűrők föld felé záródó szivárgó áramainak hatását az Útmutató 6. fejezete tárgyalja.

Az egyfázisú kisteljesítményű szünetmentes tápegységek hálózati visszahatás tekintetében nagyon hasonlítanak a kapcsolóüzemű tápegységekhez.

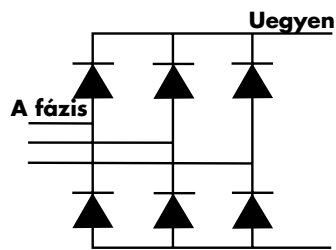
Nagy teljesítményű egységeknél új irányzatként jelentkezik az ún. javított teljesítménytényezőjű bemenet. A cél az, hogy a tápegység a hálózat felől ohmos terhelésnek látszódjon, vagyis felvett árama szinuszos és a tápfeszültséggel fázisban legyen. Ez megoldható például úgy, hogy a nagyfrekvenciás háromszög alakú bemenő áramot szűrővel szinuszosítják. Ez a többlétszolgáltatás azonban az olcsó kereskedelmi és ipari alkalmazásoknál még nem terjedt el, ezért érdemes megvizsgálni, hogy milyen problémákat okoz a fenti technológiák széleskörű alkalmazása.

## Fénycső előtétek

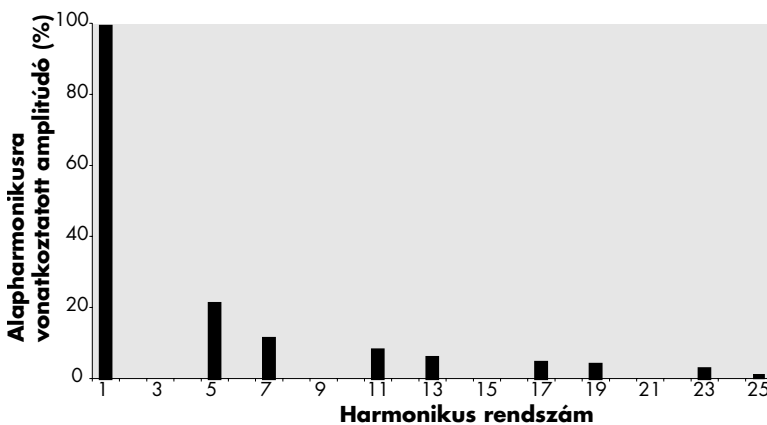
Jobb hatásfokuk következtében az elektronikus fénycső előtétek az elmúlt években igen népszerűek lettek. Általában csak egy kicsit jobb a hatásfokuk, mint a legjobb mágneses előtéteknek. Valójában ez az előny inkább annak tulajdonítható, hogy a fénycső sokkal jobb hatásfokú nagyfrekvenciájú táplálás esetén,



4. ábra. Kompakt fénycső áramának jellegzetes harmonikus spektruma



5. ábra. Háromfázisú vagy hatütemű hídkapcsolás



6. ábra. Hatütemű hídkapcsolás áramának jellegzetes harmonikus-spektruma

semmint magának az elektronikus előtétnek. A fő előnyük az, hogy az állandó fényerő hosszabb élettartamra biztosítható az áramvisszacsatolás révén – ez a gyakorlat viszont csökkenti a teljes élettartamra vonatkozó hatásfokot. Nagy hátrányuk azonban, hogy tápáramuk harmonikus tartalmát tartalmaz. Nagyobb teljesítmény tartományban léteznek úgynevezett fázisjavított típusok, amelyek kisebb harmonikus problémát okoznak, de ezek drágábbak. A kisebb egységek általában fázisjavítás nélkül készülnek.

A kompakt fénycsövek a wolframszálas izzók kiváltására készülnek. A csatlakozóban elhelyezett kisméretű elektronikus előtét a 8 mm átmérőjű fénycsövet szabályozza. A 11 W-os kompakt fénycső a 60 W-os izzószálas lámpával azonos fényáramú és várható élettartama 8000 óra. A 4. ábra az áram spektrumát mutatja. Ezeket a fénycsöveket széles körben használják az izzószálas lámpák kiváltására háztartásokban és szállodákban is, ahol már több ízben jelentkezett emiatt harmonikus probléma.

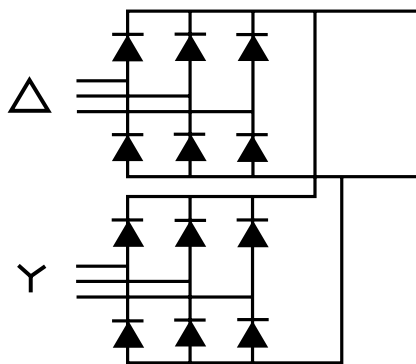
## Háromfázisú terhelések

Változtatható fordulatszámú szabályozók, UPS berendezések és egyenirányítók általában háromfázisú hídkapcsolásra alapulnak, amelyet hatütemű hídkapcsolásként is ismernek, mert egy periódus alatt hat hullám (fél periódusonként fázisonként egy) képződik az egyenáramú kimeneten.

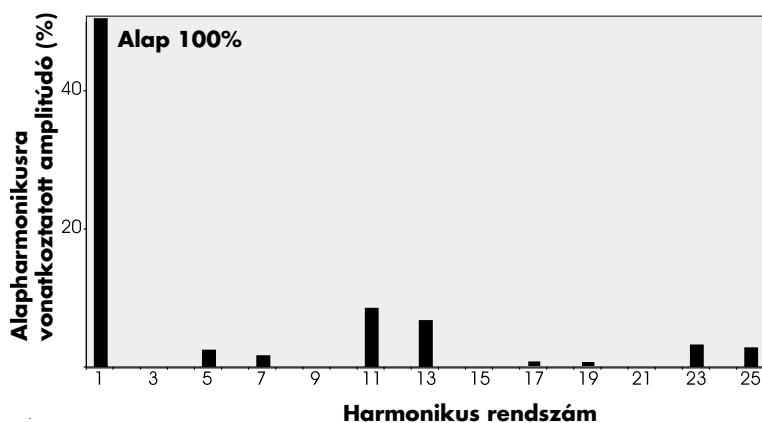
A háromfázisú hídkapcsolás által keltett ún. jellemző harmonikus rendszámok  $h=6n\pm 1$  (ahol  $n$  minden természetes szám). Az egyes rendszámokhoz tartozó harmonikus áramok amplitúdója az alapharmonikus áram és a rendszám hányadosa, ha a kommutáció pillanatszerű és az egyenáram síma (pl. az ötödik harmonikus amplitúdója 20%).

Az 5. ábra a háromfázisú híd főáramkör kapcsolási vázlatát, a 6. ábra tipikus áram spektrumát mutatja.

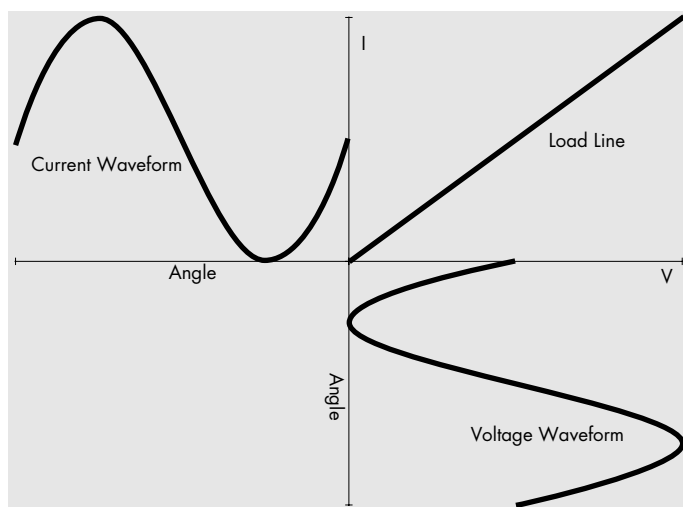
A harmonikus áramok nagysága jelentősen csökkenthető, ha két azonos teljesítményű, az egyenáramú oldalon



7. ábra. 12 ütemű hídkapcsolás



8. ábra. 12 ütemű hídkapcsolás áramának jellegzetes harmonikus-spektruma



9. ábra. Lineáris terhelés áramalakja

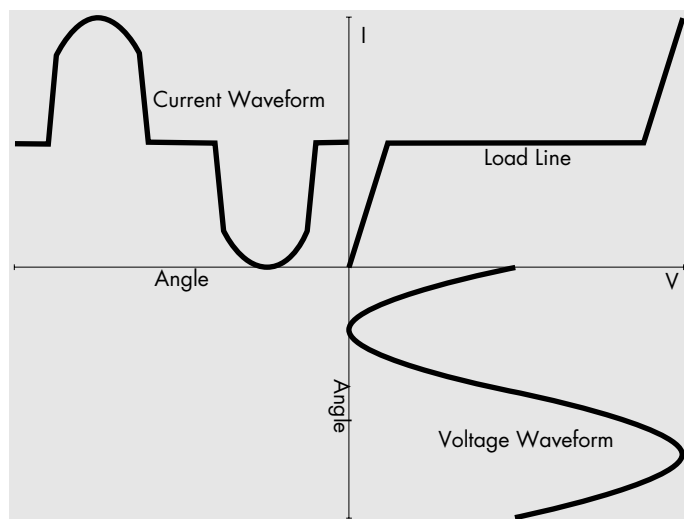
párhuzamosan vagy sorba kapcsolt háromfázisú híd egymással 30 villamos fokkal eltolt csillag illetve delta tekercsről táplálunk, ami hálózati visszahatás szempontjából elvileg egyenértékű egy 12 ütemű hídkapcsolással (ld. a 7. és a 8 ábrát).

Ily módon elméletileg kioltódnak a  $6k \pm 1$  rendszámú áramok (ahol  $k$  minden páratlan szám), a gyakorlat azonban azt mutatja, hogy a csökkenés mértéke az illesztés sikerességétől függően 20–50%-os.

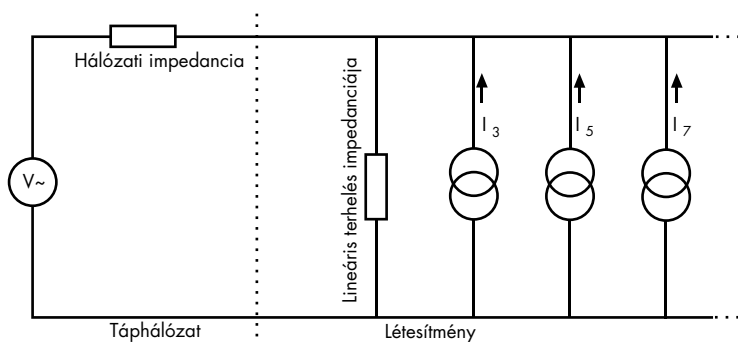
Az ütemszám növelésével tovább csökkenthető a harmonikusáram-torzítás, de ez az eljárás költségessége miatt csak nagy teljesítményű és közép- vagy nagyfeszültségre csatlakozó berendezések esetében jöhet szóba. Végeredményben az ütemszám növelésével a harmonikus áram torzulás csökken és a megmaradó nagyobb rendszámú harmonikusok szűrése egyszerűbb. A berendezégyártók gyakran alkalmaznak harmonikusáram-csökkentő módszert, valamilyen szűrést vagy előtét fojtót, ez azonban nem jelenti azt, hogy a teljes létesítmény megfelel a szabvány előírásoknak. Ennek biztosítására a létesítmény valamennyi berendezését felül kell vizsgálni.

## Elméleti alapok – a harmonikusok keletkezése

Az ideális energiarendszer feszültség- és áramjelalakjai tiszta alapharmonikus frekvenciájú szinuszhullámok. A gyakorlatban nemsinuszos áramok is keletkeznek, amikor a terhelés árama nem lineárisan függ a tápfeszültségtől. Ellenállást, induktivitást és kapacitást tartalmazó lineáris áramkör árama adott frekvencián arányosan változik a ráadott feszültséggel, ezért, ha a feszültség szinuszos, az áram is az lesz, ahogy azt a 9. ábra mutatja. Megjegyezzük, hogy ha a terhelés reaktív elemet is tartalmaz, akkor a feszültség- és az áram jelek között fáziseltolás van. Ez a fázistényező csökkenthető, de az áramkör akkor is lineáris marad. A 10. ábra kondenzátort töltő tel-



10. ábra. Nemlineáris terhelés áramalakja



11. ábra. Nemlineáris terhelés helyettesítő kapcsolása

jes hullámú egyenirányító esetére mutatja a helyzetet, ami megfelel a kapcsoló üzemű tápegység bemenő fokozatának. Az áram csak akkor folyik, amikor a tápfeszültség pillanatértéke nagyobb a kondenzátor feszültségénél, vagyis a tápfeszültség csúcspontjában, amint a terhelési jelleggörbe mutatja.

A valóságban a terhelés karakterisztikája (és ennek következtében a terhelés árama is) sokkal összetettebb annál, mint amit a szemléltető példa mutat; tartalmazhat aszimmetriát és hiszterézist; valamint a töréspontok és meredekségek függhetnek a feszültségtől és a terhelő áramtól.

Bármely periodikus jelalak felbontható az alapharmonikusának megfelelő szinuszhullámra és végtelen sok ugyancsak szinuszos felharmonikus összetevőre. Így például a 10. ábrán látható torzított áram megadható alapharmonikusával, és ennek százalékában kifejezhető második, harmadik stb. harmonikusával, legalább a harmincadik felharmonikusig van értékelhető amplitúdójú összetevő. Ha a jel oly módon szimmetrikus, hogy a pozitív és negatív félhullámok megegyeznek, a jel nem tartalmaz páros rendszámú harmonikusokat. A páros

rendszámú harmonikusok jelenleg ritkán jelentkeznek, régebben azonban gyakori volt, mivel az egyutas egyenirányítást széles körben alkalmazták.

A nemlineáris terhelés helyettesítő kapcsolását mutatja a 11. ábra. Harmonikusként modellezhető áramgenerátorral és vele párhuzamosan kapcsolt impedanciával. Az alapharmonikus feszültségforrás nem tartalmaz felharmonikusot, ezért harmonikus frekvenciákon rövidzár. A táphálózat impedanciája frekvencia függő.

A nemlineáris terhelés által keltett harmonikus áramok – pontosabban szólva a terhelés által alapharmonikusból felharmonikusra átalakított áramok – a hálózati impedanciákon keresztül kényszerülnek záródni. Ennek következtében harmonikus feszültségesések keletkeznek a hálózat elemein és a harmonikus feszültségek megjelennek az egész létesítmény minden elemén. A harmonikusforrások néha úgy látszanak, mintha feszültséggenerátorok lennének; ha ez igaz lenne akkor a táphálózat impedanciájának nem lenne hatása a rajta kialakult feszültségtorzulásra. A valóságban a létrejövő feszültségtorzulás (korlátozott mértékig) arányos a táphálózat impedanciájával, ami bizonyítja, hogy áramgenerátor jellegű a harmonikus forrás.

A táphálózat impedanciája általában nagyon kicsi, ezért kicsi lesz a harmonikus áram okozta feszültségtorzulás is, sokszor olyan kicsi, hogy elvész a háttérzajban. Ez félrevezető lehet, mert azt a látszatot kelti, hogy nincs harmonikus probléma, noha valójában nagyok a harmonikus áramok. A probléma ahhoz hasonlítható, amikor földben folyó köráramot feszültség méréssel szeretnénk megtalálni. Amikor harmonikusra gyanakszunk, vagy bizonyítani próbáljuk, hogy nincs, áramot kell mérni.

## Harmonikusok által okozott problémák

A harmonikusok a táphálózatban és a létesítményen belül egyaránt problémát okoznak. A hatások és kiküszöbölésük nagyon változó, külön kell őket választani; a megoldások, amelyek alkalmasak a létesítményen belül a harmonikus hatások csökkentésére, nem feltétlenül csökkentik a táphálózaton okozott torzítást és fordítva.

### Harmonikus problémák a létesítményen belül

A harmonikusok számos mindennapi területen okoznak problémát:

- Harmonikus áramok által okozott problémák:
  - nullavezetők túlterhelése,
  - transzformátorok túlmelegedése,
  - megszakítók téves kikapcsolása,
  - fázisjavító kondenzátorok túlterhelése,
  - skin hatás.

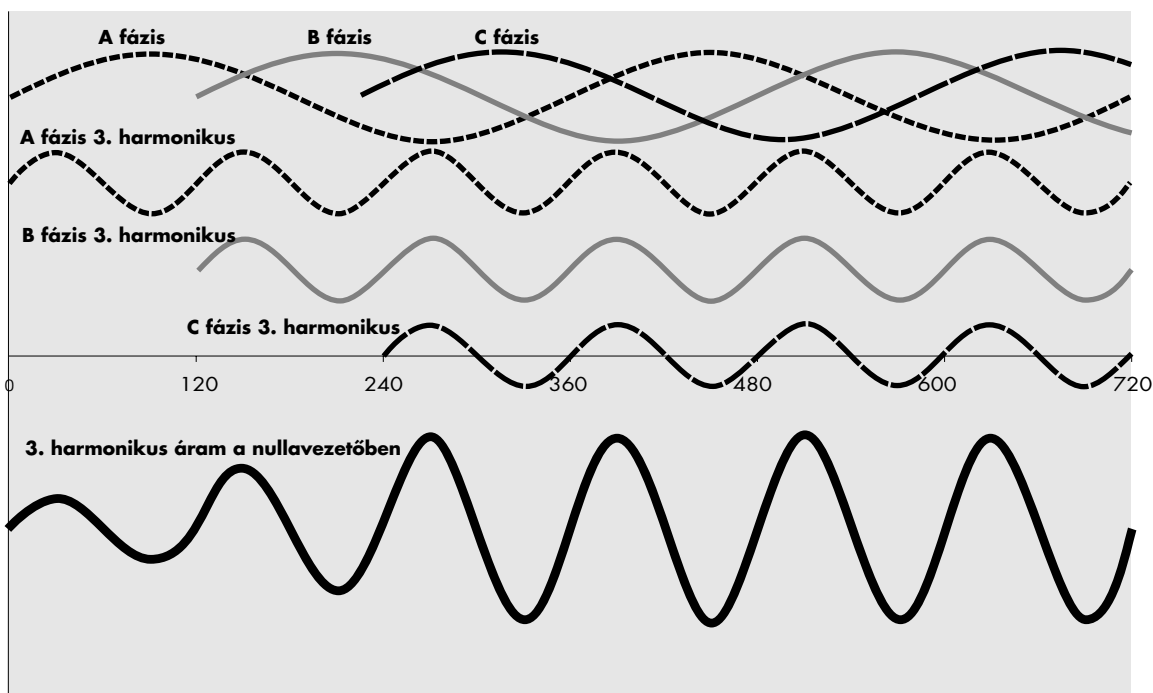
Harmonikus feszültségek által okozott problémák:

- feszültség torzulás,
- indukciós motorok veszteség növekedése
- nullátmenet bizonytalanság.
- A táphálózatba folyó harmonikus áramok által okozott problémák.

### Harmonikus áramok által okozott problémák

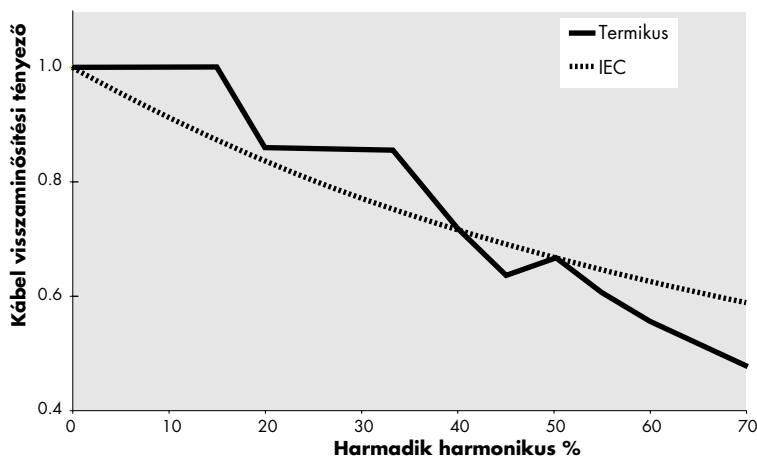
#### Nullavezető túlmelegedése

Háromfázisú rendszerekben a fázisfeszültségek időfüggvényei egymáshoz képest  $120^\circ$ -kal vannak eltolva úgy, hogy ha a fázisok terhelése azonos, a három fázis áramának összege, amely a csillagponton keresztül a



12. ábra. Harmadik harmonikus áramok összegződése a nullvezetőben





13. ábra. Kábel visszaminősítése hárommal osztható harmonikusokra

összeadódnak. A 12. ábra ezt a hatást mutatja. A diagram tetején a fázisáramok alapharmonikusai  $120^\circ$ -kal eltolva követik egymást. A harmadik harmonikus áramok az egyes fázisokban azonosak, mivel háromszoros a frekvenciájuk és így periódusidejük harmada az alapharmonikusénak, amely pontosan megegyezik a fázisok közötti időtolással. Az ábra alján a nullavezetőben folyó, harmadik harmonikus áram látható. Ebben az esetben a fázisokban folyó 70% harmadik harmonikus áram hatására a nullavezető árama 210% lesz.

Irodaházakban végzett esettanulmányok szerint a nullavezető árama a fázisvezetők áramának 150-210%-a, míg keresztmetszete gyakran fele a fázisvezető keresztmetszetének!

A tervezők különbözőképpen kezelik ezt a problémát. Az egyszerű kábelek esetén a legegyszerűbb megoldás dupla keresztmetszetű nullavezető beépítése vagy két külön vezetével, vagy egy nagyobb keresztmetszetűvel. Többes kábelek esetén a megoldás nem ilyen egyszerű. A többes kábelek névleges áramának meghatározásakor (például az IEC 60364-5-523 52. táblázatában és a BS 7671 4. függelékében) feltételezik a szimmetrikus terhelést és hogy a nullavezetőn nem folyik áram, azaz a négy ér közül csak háromban folyik áram és keletkezik hő. Mivel a kábel terhelhetősége csak attól függ, hogy mennyi hőt tud leadni a maximális megengedett hőmérsékleten, a harmadik harmonikus árammal terhelt kábelek terhelhetőségét csökkenteni kell. Példáinkban a kábel öt egységnyi áramot vezet – hármat a fázisvezetőkben, kettőt a nullavezetőben –, de csak három egységre van méretezve. Így a normál terhelhetőségének körülbelül 60%-ára vissza kell minősíteni.

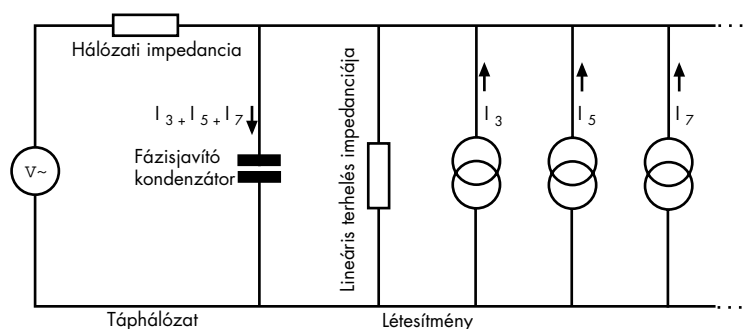
Az IEC 60364-5-523 C tájékoztató kiegészítése a harmadik harmonikus áramok nagyságának függvényében visszaminősítési tényezők sorozatát javasolja. A 13. ábra a fenti módszer alapján meghatározott, az IEC 60364-5-523°C kiegészítés szerinti visszaminősítési tényezőt mutatja a harmadik harmonikus tartalom függvényében.

Jelenleg folynak a tárgyalások a szabályozásról és valószínű, hogy a közeljövőben új követelményeket és irányelveket fognak bevezetni a nemzeti vezeték szabványokban.

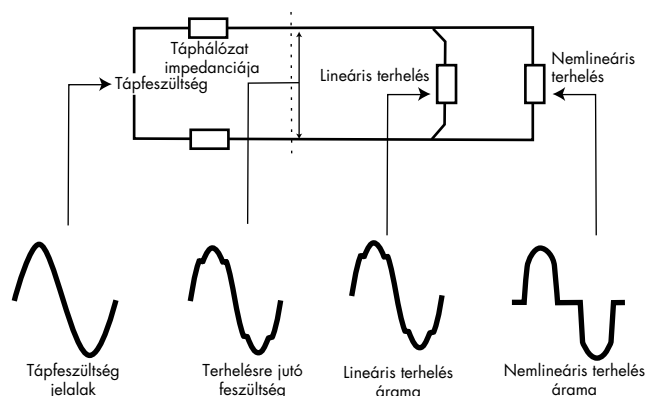
## Transzformátorok túlmelegedése

A harmonikusok a transzformátorokra két módon hatnak. Az egyik hatás az örvényáram veszteség, ami a harmonikus rendszám négyzetével növekszik és normális körülmények között a teljes terhelésnél fellépő veszteség 10%-a körüli érték. A gyakorlatban egy IT berendezéseket is tápláló transzformátornak teljes terhelésnél kétszer akkora a vesztesége, mint egy azonosan terhelt csak lineáris terhelésűnek. Ez a többlet veszteség sokkal nagyobb üzemi hőmérsékletet és rövidebb élettartamot eredményez. Valójában ilyen körülmények között az élettartam a szokásos 40 évről úgy 40 napra csökken! Szerencsére csak néhány transzformátor üzemel teljes terheléssel, de a fenti hatást tervezéskor figyelembe kell venni.

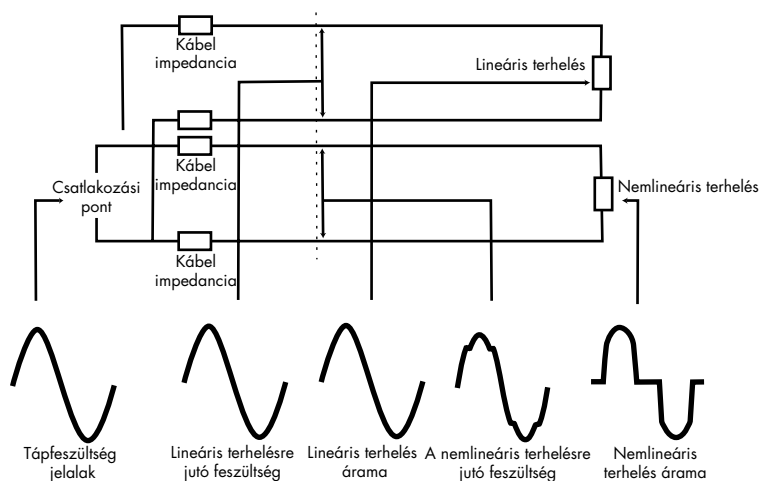
A másik hatás a hárommal osztható szimmetrikus harmonikusokkal kapcsolatos. A delta tekercsben ezek az áramok egymással fázisban vannak, így a delta tekercselésben körbe folynak. A delta tekercsből nem lépnek ki a hálózat felé, így a delta tekercsrel rendelkező transzformátorok leválasztó transzformátorként működnek. Megjegyezzük, hogy a többi harmonikus keresztülfolyik a transzformátorokon. A transzformátor



14. ábra. Nemlineáris terhelés és fázisjavító kondenzátor együttes modellje



15. ábra. Nemlineáris terhelés által okozott feszültségtorzulás



16. ábra. Lineáris és nemlineáris terhelések szétválasztása

méretezésekor a deltában folyó áramot is figyelembe kell venni.

A transzformátoroknak harmonikus áramok jelenlétekor történő méretezésével jelen Útmutató egy későbbi fejezete részletesen foglalkozik.

### Megszakítók téves kikapcsolása

Áramvédő kapcsolást alkalmazó kismegszakítók a fázis és a nullavezető áramainak összegét képezik és ha az eredmény meghaladja a beállított értéket, leválasztják a terhelést a hálózatról. Téves kikapcsolást okozhatnak a harmonikusok két okból is. Először is mivel ezek elektromechanikus eszközök, a nagyobb frekvenciájú összetevőket nem pontosan mérik és ez hibás kapcsoláshoz vezet. Másodszor a harmonikusokat termelő berendezések kapcsolási tüskéket is keltnek, amelyeket a berendezés hálózati csatlakozásánál szűrni kell. Az erre a célra használt szűrők kondenzátort tartalmaznak, amely a fázis-föld és a nullavezető-föld közé van kötve és ezért a föld felé folyik némi áram. Ezt a szivárgó áramot a szabványok szűrőnként 3.5mA -ben korlátozzák és általában ennél sokkal kisebb értékű, de ha sok berendezés van egy áramkörre kapcsolva, a szivárgó áram elég nagy lehet ahhoz, hogy az áramvédő kapcsolót működtesse. A helyzet könnyen megoldható, ha több áramkört alkalmazunk, amelyek így kisebb terheléseket táplálnak. Az Útmutató egy későbbi fejezete a nagy szivárgó áram kérdését részletesen tárgyalja.

A kismegszakítók téves kapcsolását gyakran okozza az a körülmény, hogy a harmonikusok jelenléte miatt az áramkör árama nagyobb, mint a számítások vagy egyszerű mérés alapján feltételezett. A legtöbb egyszerű kézi műszer nem a valódi effektív értéket méri és torzított, nem szinuszos áram esetén a ténylegesnél akár 40%-kal kisebb értéket mutat. A valódi effektív érték mérést részletesen a 3.2.2 fejezet tárgyalja.

### Fázisjavító kondenzátorok túlterhelése

A fázisjavító kondenzátorok telepítésének célja, hogy az induktív terhelések – mint például egy aszinkron motor – induktív meddőteljesítményét kompenzálja és a hálózat felé eredőben közel ohmos terhelést jelentsen. A 14. ábra a fázisjavító kondenzátor és a nemlineáris terhelés együttes egyszerűsített helyettesítő áramkörét mutatja. A fázisjavító kondenzátor

zátor impedanciája a frekvencia növekedésével csökken, míg a táphálózati impedancia általában induktív és a frekvenciával növekszik. Így párhuzamos rezonancia alakul ki a kondenzátor és a táphálózat között, amelynek következtében a kondenzátoron nagy harmonikus áramok folynak és ha csak nem úgy tervezték, hogy ezt kibírja, meghibásodhat a túlterheléstől. Ez a rezonancia általában a 100-550 Hz-es tartományba esik. A rezonancia következtében a táphálózat felé is nagyobb lesz a harmonikus áram. A rezonancia elkerülhető, ha a fázisjavító kondenzátorral sorbakötünk egy fojtótekerccset úgy, hogy eredőjük már éppen induktív legyen a legkisebb domináns harmonikus rendszámra. Ez a megoldás a hálózat felé és a kondenzátorokba folyó harmonikus áramot is csökkenti. Problémát okozhat a fojtó mérete, különösen, ha kis rendszámú harmonikus a domináns.

## Szkinhatás

A váltakozó áram a vezető külső felülete közelében igyekszik folyni. Ezt a jelenséget, amely növekvő frekvenciáknál egyre hangsúlyozottabban jelentkezik, szkinhatásnak nevezzük. 50 Hz-nél általában elhanyagoljuk, mivel alapharmonikuson kis hatású, de 5. harmonikustól felfelé egyre jelentősebb, mert többletvesztéseket okoz. Ahol harmonikus áramok vannak, a tervezőknek figyelembe kell venni a szkinhatást és megfelelő mértékben vissza kell minősíteni a kábelek terhelhetőségét. Többesű kábel vagy lemezelt sín használata csökkenti ezt a problémát. Figyelni kell továbbá arra, hogy a gyűjtősínek rezgésre történő méretezésekor a harmonikus frekvenciákat is figyelembe kell venni. Ezen kérdésekre vonatkozó tervezési útmutatást ad a CDA 22. kiadványa „Réz gyűjtősínek”.

## Harmonikus feszültségek által okozott problémák

A harmonikus áramok a táphálózat impedanciáján átfolyva az eredetileg szinuszos feszültséget eltorzítják. Az impedancia két részre osztható: a belső kábelezés impedanciája a csatlakozási pontig, és a csatlakozási ponttól a tápoldal felé mért impedancia, például a helyi táptranszformátor impedanciája.

A nemlineáris terhelés torz terhelő árama torz feszültségesést okoz a kábelimpedancián. Erről a torz feszültség hullámról van táplálva a többi terhelés, amelyek ugyanerre az áramkörre csatlakoznak és harmonikus áram folyik rajtuk akkor is, ha lineáris terhelések.

A megoldás a szétválasztott áramkörök alkalmazása; a nemlineáris terheléseket el kell különíteni a harmonikusokra érzékeny terhelésektől, ahogy a 16. ábra mutatja. Itt elkülönített áramkörök táplálják a csatlakozási ponttól a lineáris és nemlineáris terheléseket, ezért a nemlineáris terhelések által a csatlakozási pontig okozott feszültségtorzulást nem érzékelik a lineáris terhelések.

A harmonikus feszültségtorzulás nagyságának számításakor figyelembe kell venni, hogy ha a terhelést hálózati hiba esetén szünetmentes táp vagy vészgenerátor táplálja, akkor a táphálózati impedancia és vele együtt a feszültségtorzulás is sokkal nagyobb lehet.

A helyi transzformátorokat úgy kell megválasztani, hogy kis kimenő impedanciájúak legyenek és kellő tartalékuk legyen a többletvesztésekre, más szavakkal megfelelően túl kell méretezni a transzformátort. Itt jegyezzük meg, hogy nem megfelelő, ha a transzformátor terhelhetőség növelése kényszerhűtéssel érhető el – az ilyen berendezés nagyobb belső hőmérséklettel üzemel és ezért csökken az élettartama. Kényszerhűtést csak szükségállapotra szabad fenntartani és soha nem szabad a normál üzemet erre alapozni.

## Aszinkron motorok

A harmonikus feszültségtorzulás a transzformátoroknál leírtakhoz hasonlóan a motorokban is megnöveli az örvényáram-vesztéseket. Ezekhez a veszteségekhez azonban az állórészben létrejövő harmonikus mezők következtében, amelyek a forgórészt különböző sebességgel előre vagy hátra akarják forgatni további veszteségek adódnak. A forgórészben indukált nagyfrekvenciás áramok újabb veszteségeket okoznak.

Ahol harmonikus feszültségtorzulásra lehet számítani, ott a többlet veszteségek figyelembe vételével a motorok névleges teljesítményét mindig vissza kell minősíteni.

## Nullátmenet bizonytalanság

Az elektronikus szabályozók sok esetben a tápfeszültség nullátmenetét érzékelik azért, hogy meg tudják határozni a terhelés bekapcsolásának optimális időpontját. Ennek az az oka, hogy a különböző terheléseket a tápfeszültség megfelelő fázishelyzetében kapcsolva minimalizálható a bekapcsolási tranziens, így kisebb lesz az elektromágneses kölcsönhatás és a félvezető kapcsolóelemek igénybevétele. Ha a tápfeszültség harmonikusokat vagy tranzienseket tartalmaz, a nullátmenet körül a feszültség meredekebb és nehezebben

felismerhető lesz, így nagyobb a hibás működés valószínűsége. Gyakorlati esetekben félperiódusonként több nullátmenet is lehetséges.

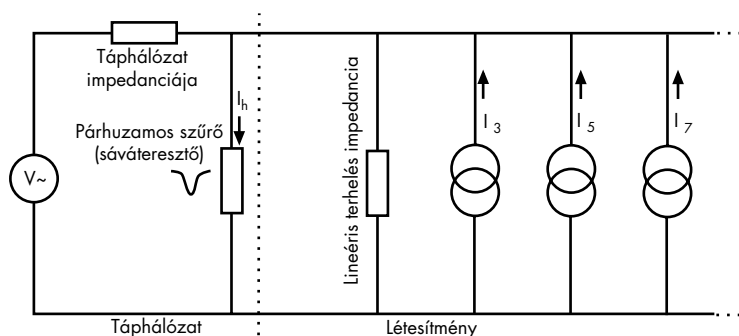
## Harmonikus problémák a tápoldalon

Ha harmonikus áram terheli a táphálózatot, ez harmonikus feszültségesést okoz, amely a táphálózatnak a csatlakozási ponton mért impedanciájával és a harmonikus árammal arányos. Mivel a táphálózat rendszerint induktív jellegű, impedanciája a frekvencia növekedésével nő. Természetesen a csatlakozási pont feszültsége az egyéb fogyasztók harmonikus áramai és a transzformátorok saját torzítása miatt is torzul, és minden egyes fogyasztó hozzájárul ehhez a torzuláshoz.

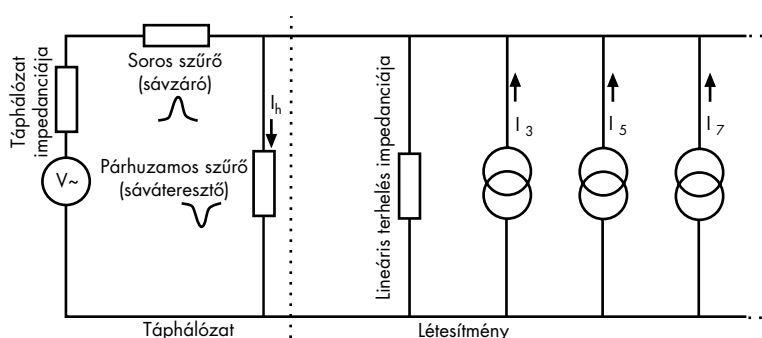
A fogyasztók nyilván nem növelhetik a hálózat szennyezettségét a többi fogyasztó rovására, ezért a legtöbb ország villamosenergia-iparában olyan szabályozást vezettek be, amely korlátozza a betáplálható harmonikus áram nagyságát. Ezek az előírások nagyrészt az 1975-ben életbe lépett angol G5/3 szabványon alapulnak. A hálózattorzulási irányelvek az MSZ EN 50160 (2001) szabványban vannak megadva, a fogyasztói készülékekre termékszabványok vonatkoznak, a létesítményeket illetően a határértékek megadása országonként eltérő lehet. Erről később még szó lesz jelen Útmutatóban.

## Harmonikusok csökkentésének módszerei

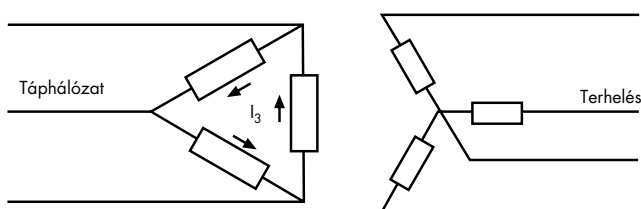
A harmonikusok csökkentésére alkalmas módszerek az Útmutató későbbi fejezeteiben kerülnek részletes ismertetésre. Ez a fejezet csak egy általános rövid áttekintést ad. A csökkentési módszerek három nagy csoportba sorolhatók: passzív szűrés,



17. ábra. Párhuzamos passzív harmonikus szűrő



18. ábra. Soros és párhuzamos passzív szűrők



19. ábra. Csillag-delta leválasztó transzformátor

leválasztó- és harmonikuscsökkentő-transzformátorok alkalmazása, valamint aktív szűrés. Mindegyik változatnak van előnye és hátránya, tehát nincs egyetlen legjobb megoldás. Nagyon könnyen lehet sok pénzt kiadni alkalmatlan és hatástalan megoldásokra; célravezető az, ha először egy alapos tanulmány készül – az erre alkalmas eszközök az Útmutatóban később kerülnek tárgyalásra.

### Passzív szűrők

A passzív párhuzamos (sáváteresztő) szűrők lényegében kis impedanciájú ágat képeznek a harmonikus áramok számára, amelyek a mögöttes hálózattal párhuzamosan vannak kapcsolva, ezért a harmonikus áramok nagy része a szűrőn és nem a hálózaton keresztül záródik (17. ábra). Az igényektől függően a szűrőt tervezhetjük egyetlen harmonikusra, vagy szélessávúnak.

Néha szükséges lehet sokkal összetettebb szűrő beépítése, amely a harmonikus frekvenciákon megnöveli a soros impedanciát és így tovább csökkenti a hálózat felé folyó harmonikus áramot, ahogy azt a 18. ábra mutatja.

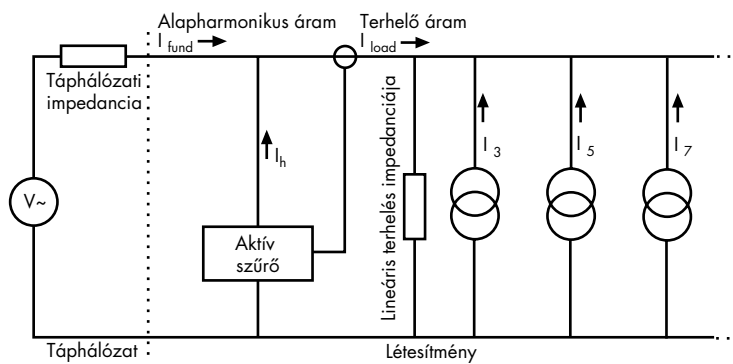
A fázisvezetőben vagy a nullavezetőben elhelyezett egyszerű soros sávzáró szűrő alkalmazása némely esetben előnyös

lehet. A soros sávzáró szűrő nem sönt utat képez, hanem meggátolja a harmonikus áramoknak a hálózat felé folyását. Ezért nagy harmonikus feszültség esik rajta. Ez a harmonikus feszültség megjelenik a szűrőnek a terhelés felőli oldalán. Mivel így ez a feszültség nagyon torzított, nem felel meg a szabványnak, amelyre a berendezések tervezve és garantálva voltak. A berendezések egy része kevésbé érzékeny az ilyen nagy torzításra, mások meg nagyon érzékenyek. A soros szűrő némely esetben indokolt lehet, de körültekintően kell alkalmazni; nem tekinthető általános megoldásnak.

## Leválasztó transzformátor

Ahogy korábban említettük, a hárommal osztható szimmetrikus harmonikusok a transzformátorok delta tekercsében körbe folynak. Ez a kérdés a transzformátor gyártók és tervezők problémája – a többletterhelést figyelembe kell venni –, ugyanakkor előnyös a rendszer tervezői számára, mert leválasztja a hárommal osztható harmonikusokat a táphálózatról (19. ábra).

Ugyanez a hatás elérhető földelt csillagpontú zezzug tekercselésű transzformátorral is. Ezeket az eszközöket célszerű a harmonikus forráshoz villamosan közel telepíteni.



20. ábra. Aktív harmonikus szűrő

## Aktív szűrők

Az eddig említett megoldások csak adott harmonikus rendszámokra alkalmazhatók; a leválasztó transzformátor csak a hárommal osztható szimmetrikus harmonikusokra, a passzív szűrők csak a tervezett hangolt frekvenciákra. Egyes létesítményekben a harmonikusok rendszáma nehezen tervezhető. Számos IT berendezést tartalmazó létesítménynél a berendezések összetétele és elhelyezése állandóan változik, a harmonikus tartalom is változó. Ilyen esetben az aktív

harmonikus szűrő vagy röviden aktív szűrő az alkalmas megoldás. Amint a 20. ábrán látható, az aktív szűrő sönt elem. A terhelő áram harmonikus tartalmát mérő áramváltóról vezérelt áramgenerátor ellenfázisban injektálja a terhelő áram harmonikus tartalmát a hálózati csatlakozási pontba. Mivel a terhelés harmonikus áramát az aktív szűrő lényegében elnyeli, ideális esetben a hálózat és a terhelés között már csak alapharmonikus áram folyik. A gyakorlatban a terhelő áram harmonikus tartalmának mintegy 90%-a kiszűrhető ilyen módon, ennek következtében az okozott feszültségtorzulás is ilyen arányban csökken.

## Összefoglalás

A napjainkban készülő villamos berendezések többségében van kapcsolóüzemű tápegység, vagy ezek a berendezések valamilyen módon szabályozható teljesítményűek, ezért nemlineáris terhelések. Lineáris terhelés típus ma már kevés van, leggyakoribbak a fényerőszabályozó nélküli izzólámpák, szabályozatlan melegvíz tárolók és villamos fűtések.

Az Útmutató további fejezeteiben ismertetésre kerül a készülékekre vonatkozó szabvány, amely nem lett eléggé szigorú ahhoz, hogy az elektronikus eszközök, mint pl a számítógépek által okozott harmonikus torzításra ténylegesen hasson. Ez az a készülék típus, amelyik jelenleg a harmonikus problémák többségét okozza az iparban, a kereskedelemben és a kommunális hálózatokban részben azért, mert sok ilyen berendezés van, részben azért, mert az általuk keltett harmonikusok – köztük a hárommal osztható - sok problémát okoznak.

Szigorú - az előírások betartását kötelező mérésekkel ellenőrző - szabványok bevezetése nélkül bizonyosra vehető, hogy a hálózatok harmonikus szennyezettsége az egyre nagyobb számban telepített nemlineáris terhelések miatt tovább nő. Ez a kérdés lényegében olyan üzleti kockázati befektetés, amelyet körültekintő tervezéssel, megfelelő minőségű villamos berendezésekkel és helyes szereléssel lehet és kell kezelni.



# Európai Rézpiaci Központok

## **Benelux államok**

Copper Benelux  
Avenue de Tervueren 168  
B-1150 Brussels

Tel: 00 32 2 777 7090

Fax: 00 32 2 777 7099

Email: mail@copperbenelux.org

Website: www.copperbenelux.org

Kontaktszemély: Mr. B. Dôme – Igazgató

## **Franciaország**

Centre d' Information du Cuivre et Latons  
Avenue de Messine 30  
F- 75008 Paris

Tel: 00 33 1 42 25 25 67

Fax: 00 33 1 49 53 03 82

Email: centre@cuivre.org

Website: www.cuivre.org

Kontaktszemély: Mr. P. Blazy – Igazgató

## **Németország**

Deutsches Kupfer- Institut e.V  
Am Bonnheshof 5  
D-40474 Duesseldorf

Tel: 00 49 211 4796 300

Fax: 00 49 211 4796 310

Email: info@kupferinstitut.de

Web: www.kupferinstitut.de

Kontaktszemély: Dr. W. Seitz – Igazgató

## **Görögország**

Hellinic Copper Development Institute  
L Riankour Str 74  
GR – 115 23 Athens

Tel: 00 30 1 690 4406-7

Fax: 00 30 1 690 4463

E-mail: info@copper.org.gr

Kontaktszemély: Mr. D. Simopoulos – Igazgató

## **Magyarország**

Magyar Rézpiaci Központ  
Képipró u. 9.

H – 1053 Budapest

Tel: 00 36 1 266 4810

Fax: 00 36 1 266 4804

Email: info@hcpcinfo.org

Kontaktszemély: Pintér R. – Igazgató

## **Olaszország**

Istituto Italiano del Rame  
Via Corradino d'Ascanio 1  
I-20142 Milano

Tel: 00 39 02 8930 1330

Fax: 00 39 02 8930 1513

Email: ist-rame@wirenet.it

Web: www.iir.it

Kontaktszemély: Mr. V. Loconsolo – Igazgató

## **Lengyelország**

Polish Copper Promotion Centre SA  
Pl.1 Maja 1-2  
PL-50-136 Wroclaw

Tel: 00 48 71 78 12 502, 78 12 383

Fax: 00 48 71 78 12 504

Email: copperpl@wroclaw.top.pl

Kontaktszemély: Mr. P. Jurasz – Igazgató

## **Skandinávia**

Scandinavian Copper Development Association  
Kopparbergsvägen 28  
S – 72188 Västerås

Tel: 00 46 21 19 86 20

Fax: 00 46 21 19 80 35

Email: scda.info@outokumpu.fi

Website: www.scda.com

Kontaktszemély: Mrs. M. Sundberg – Igazgató asszony

## **Spanyolország**

Centro Español de Informacion del Cobre  
Princesa 79  
E – 28008 Madrid

Tel: 00 34 91 544 8451

Fax: 00 34 91 544 8884

E-mail: cedic@pasanet.es

Kontaktszemély: Mr. J. R. Morales – Igazgató

## **Egyesült Királyság**

Copper Development Association  
Verulam Industrial Estate  
224 London Road

St Albans Hertfordshire AL1 1AQ

Tel: 00 44 1727 731200

Fax: 00 44 1727 731216

Email: copperdev@compuserve.com

Websites: www.cda.org.uk

Kontaktszemély: Mrs. A. Vessey – Manager



*David Chapman*

 **Copper Development Association**

Copper Development Association  
Verulam Industrial Estate  
224 London Road  
St Albans AL1 1AQ

Tel: 00 44 1727 731200  
Fax: 00 44 1727 731216  
Email: [copperdev@compuserve.com](mailto:copperdev@compuserve.com)  
Websites: [www.cda.org.uk](http://www.cda.org.uk)  
[www.brass.org](http://www.brass.org)



**HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE**

Magyar Rézpiaci Központ  
H-1053 Budapest  
Képiró u. 9.  
Magyarország

Tel: (+36 1) 266 48 10  
Fax: (+36 1) 266 48 04  
E-mail: [info@hpcinfo.org](mailto:info@hpcinfo.org)  
Web: [www.hpcinfo.org](http://www.hpcinfo.org)



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)